

## ⑫ 公開特許公報(A)

平3-104021

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>G 11 B 7/007  
7/09  
7/24

識別記号

C  
B

庁内整理番号

7520-5D  
2106-5D  
8120-5D

④ 公開 平成3年(1991)5月1日

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全16頁)

④ 発明の名称 光記録媒体およびその記録再生方法

② 特 願 平1-239979

② 出 願 平1(1989)9月18日

⑦ 発 明 者 杉 山 久 貴 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑦ 発 明 者 前 田 武 志 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑦ 発 明 者 井 出 浩 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑦ 発 明 者 重 松 和 男 神奈川県小田原市国府津2880番 株式会社日立製作所小田原工場内

⑦ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑦ 代 理 人 弁理士 小川 勝男 外1名

最終頁に続く

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光記録媒体およびその記録再生方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 光スポットの照射による局所的特性変化を利用して記録される光記録媒体であって、該光記録媒体の進行方向に延在する深さの異なる溝を、光スポット内に2つ含まれるように該進行方向に対して直角方向に交互にかつ周期的に配置し、記録ピットはこれら溝と溝の間の平面上に記録することを特徴とする光記録媒体。

2. 上記深さの異なる各々の溝は、その深さが $\lambda/8$ 、 $3\lambda/8$ であることを特徴とする請求項

1記載の光記録媒体。

3. 上記深さの異なる各々の溝は、その深さが $\lambda/8$ 、 $2.5\lambda/8$ であることを特徴とする請求項1記載の光記録媒体。

4. 請求項1乃至3項のいずれかに記録の光記録媒体に対して、光スポットを照射して得られる反射回折光分布のうち浅い溝側の0次と3次の

干渉領域についての強度変化を検出して情報を再生する方法。  
ことも特徴とする記録再生方法。

5. 分布のうち0次と±3次の2つの干渉領域についての強度変化を検出し、その差または和信号によって上記光スポットの位置を検出することを特徴とする請求項4記載の記録再生方法。

6. 上記反射回折光分布を光検出器上に得るとともに、この検出器の検出面を浅い溝側の0次と3次の干渉領域を検出するように2分割し、各々で検出した信号を光スポットの位置によって切り替えることを特徴とする請求項5記載の記録再生方法。

## 3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

本発明は、光記録媒体およびその記録再生方法に係り、特に記録密度を向上させるのに好適な光記録媒体とその記録再生方法に関する。本発明は光スポットの照射による局所的特性変化、(例えば、反射率変化、透過率変化、深さ変化等)を利用して記録する、記録可能(Write Once)あるいは

消去可能(Erasable)な光ディスク装置に用いて特に好適である。

#### 【従来の技術】

従来の例えば、ファイル用光ディスクの記録再生方式では、ディスク面上に一定の深さの溝をスパイラル状に設けて、複数の溝をディスクの半径方向に等間隔に配列し、光スポットを溝上または溝間に沿って照射して、溝上あるいは溝間の中心に沿って情報の記録または再生あるいは消去を行っていた。この溝は、光スポットをトラックに追従させるためのガイド(案内)として作用する。そして、記録・再生の低ノイズ化のためには、溝間の幅(トラック間隔)はディスク上に情報として記録される記録ピットの径よりも小さいことが望ましい。しかし、このように、ディスクの半径方向のトラックの間隔を光ビームスポット径よりも小さくするような高密度化の目的に対しては次の2つの問題があった。

第1の問題はトラッキングの問題である。一般に、トラックの中心に対する光スポットの半径方

向の位置ずれ(トラックずれ)を検出する方法としては、公知である所謂「プッシュプル方式」が用いられる。即ち、ディスクの半径方向に周期的に配置された溝構造を光スポットに対して回折格子として作用させる。記憶容量の高密度化の目的のために、トラック間隔、すなわち溝間隔を小さくすることは、ディスクの半径方向の空間周波数(溝の周期の逆数で表わされる)が読み取りの光学系の遮断周波数(光スポットの径の逆数で表わされる)に近い値となるために、光スポットの半径方向の位置ずれを検出することが困難になるという問題である。

第2の問題は隣接トラックからの不必要な情報の混入によって生じるクロストークの問題である。トラック間隔を光スポット径よりも小さくすると、たとえ目的のトラックの中心を正確に光スポットが追従していても、隣接するトラックに光スポットがかかるために必要とする目的トラックの情報に不必要な情報が混入してしまう。すなわちクロストークが増大してしまう。

以上のような従来の問題点に対して、特開昭57-10582号では、第3図(a)に示すように、ディスク断面の形状を「V字形」または「逆梯形」の形状とし、光スポットを溝の斜面に沿わせて情報ピットの記録再生を行なっている。この方法では、溝の周期は従来の間隔と同じであるが、トラック間隔は $1/2$ となる。よってトラック追従誤差は検出でき、第1の問題点を解決している。また、情報トラック面が斜面であることから、その斜面の形状を制御することで回折光の分布を制御し、出射ひとみの外周部に目標とする情報トラック11からの回折光のみが分布するようにし、両隣りの情報トラック12または13からのクロストークの影響を低減することで、第2の問題点を解決している。

一方、特開昭61-192047号では、第3図(b)に示すようにスパイラル状または同心円状に凸部トラック14と凹部トラック15が半径方向に交互に設けられており、さらに各トラックにはトラックに沿ってトラッキングのための光ガイド用溝16が設

けられている。光ガイド用溝16は幅が記録ピット17の径よりも小さく、深さはレーザ光波長( $\lambda$ )に対し $(1/4 \sim 1/8)\lambda$ である。以上のようなディスク構造に対して、凸部トラック14と凹部トラック15の両方について記録再生を行なうことにより記録密度を向上させている。また、トラッキングを各トラック上にある光ガイド用溝16によって行なうことにより、高精度のトラッキングを可能としてクロストークを低減できる。

また、特開昭54-136303号では、第3図(c)に示すように、ディスク面3に深さ $\lambda/4$ と $\lambda/8$ のピット18、19よりなる情報トラック20~23をディスク半径方向に配列している。このように情報ピット自体の深さを隣同士で異なるようにすることで、回折光の分布の制御を行ない、深さ $\lambda/8$ の情報トラック20、22の再生では、2分割光検出器の各受光面からの信号の差を、深さ $\lambda/4$ の情報トラック21、23の再生では2分割光検出器の各受光面からの信号の和を再生信号として検出することで、クロストークの小さい信号を検出してい

る。

【発明が解決しようとする課題】

上記の従来技術の問題点として、特開昭57-105828号では第1に半径方向の断面が「V字形」また「逆梯形」をなす溝を持つディスク原盤の製法として、先端が「V」字または「梯形」をしたダイヤモンド針で金属板を機械式カッティングする方法を用いる。しかしながら、これは記録ビットを形成する溝斜面の表面を高精度の鏡面に形成するためには、通常用いられる微細構造を特徴とするカッティング方式、すなわち紫外線硬化樹脂（ホトレジスト）にレーザ光を露光して現像を行ない、溝を形成するレーザカッティングによって上記原盤を作成することは困難である。

特開昭61-192047号については、上記従来例と同様に、記録ビットを形成する凸溝面または凹溝面を鏡面にするために機械式カッティングを用いなければならない。さらに、各トラックの中央に光ガイド用溝16を形成させた場合は、情報ビット17を読み取る際に光ガイド用溝によるノイズの影

響が大きくなるという問題がある。

特開昭54-13603号については、情報ビット別の深さを隣合うトラックで異なるように配置しなければならない。これは「再生専用光ディスク」のように、高精度なプロセス制御、たとえばレーザカッティング装置等でディスクの情報ビットをあらかじめつくりつけるようなメディアについては可能であるが、「データファイル用光ディスク」のように、情報ビットの記録再生・消去をユーザ側の簡易な装置で行なうようなメディアに対しては、トラックごとにそれぞれの目標深さの異なるビットを精度良く記録することは困難である。

本発明の目的は以上の問題点に鑑み、機械式カッティングだけでなく、レーザカッティングによっても容易に原盤を作成することができ、かつ安定なトラッキング制御を持ちながら、トラック間隔を光スポット径の半値程度に小さくすることで記録密度を2倍にできる記録媒体及びその記録再生方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

本発明の光記録媒体は、光スポットの照射による局所的特性変化を利用して記録される光記録媒体であって、該光記録媒体の進行方向に延在する深さの異なる溝を光スポット内に2つ含まれるように該進行方向に対して直角方向に交互にかつ周期的に配置し、記録ビットはこれら溝と溝の間の平面上に記録することを特徴とする。本発明の1つの特徴によれば、深さの異なる各々の溝は、その深さが $\lambda/8$ 、 $3\lambda/8$ である。

本発明の他の特徴によれば、深さの異なる各々の溝は、その深さが $\lambda/8$ 、 $2.5\lambda/8$ である。

また、本発明の記録再生方法は、上記の光記録媒体に対して光スポットを照射して得られる反射回折光分布のうち浅い溝側の0次と3次の干渉領域についての強度変化を検出して情報を再生することを特徴とする。

また、上記受光される反射回折光分布のうち0次と±3次の2つの干渉領域についての強度変化を検出し、その差または和信号によって光スポットの位置を検出する。さらに、上記反射回折光分

布を光検出器上に得るとともに、この検出器の検出面を浅い溝側の0次と3次の干渉領域を検出するように2分割し、各々で検出した信号を光スポットの位置によって切り替えることを特徴とする。

【作用】

本発明によれば、光スポット内に2つの溝が含まれるので、トラックピッチは従来の2倍になる。また、データである情報ビットは溝と溝の間の平坦部分に記録するので、焦点サーボなどのスポット制御が安定であり、再生する時もノイズも小さい。また、溝の深さには、最適値があり、溝の深さそれぞれが $\lambda/8$ 、 $3\lambda/8$ の場合は、総受光量を大きくとれるために、ディスクノイズの大きい記録膜に対してもS/Nの高い信号検出ができる。また、溝の深さそれぞれが $\lambda/8$ 、 $2.5\lambda/8$ の場合は、情報ビットが溝にはみでるような大きさになる記録膜でも、溝内の局所的特性変化による回折光の変化が受光分布の一部にしか現われないので、クロストークを低減できる。

本発明の記録再生方法では、光スポットを溝と

溝の間に位置づけた時に得られる受光分布のうち、浅い溝側の 0 次と 3 次回折光の干渉領域では、隣接トラック上の情報ビットからの回折光が打ち消されるために、クロストークを低減できる。また、光スポット内に、2 つの溝が含まれていても、これら 2 つの溝の深さが異なるので、溝の違いを分解することができ、トラックピッチを 2 倍にしても、トラッキング信号を正常に検出できる。さらに、上記受光分布上での光強度を検出して浅い溝側を判断し、浅い溝側の光強度変化を常に情報信号として検出するように信号検出を切り替えることで、深さの異なる溝が 2 重らせん状に作りつけられているために光スポットが一周したのち受光分布上で浅い溝が左右入れ替わるような場合でも、常にクロストークの小さい情報信号を検出できる。

したがって、本発明によれば、トラッキング信号の検出が可能なら、クロストークの小さい信号の検出が可能で、しかもトラックピッチを 2 倍にできるので、記録密度を 2 倍にできる光ディスク装置を実現することができる。

$$r(x) = \exp(-1/2 \cdot x^2) \quad (1)$$

となる。ここで  $\delta$  は強度分布の中心と端での強度比を表わし、ビームの拡がり半径、すなわち光スポットの半径は  $\lambda/NA$  に比例する。

さらに、絞り込みレンズ 2 で焦点ずれや収差が存在しない場合、レンズ 2 の出射ひとみ上での光ビーム分布  $f(x)$  は  $r(x)$  と一致する。この光ビーム  $f(x)$  がレンズ 2 によってフーリエ変換され、ディスク面 3 上に絞り込まれる。ディスク面上でのディスク半径方向を  $u$  軸にとると、この時の複素振幅分布  $F(u)$  は

$$F(u) = f(x) \exp(i2\pi ux) dx \quad (2)$$

となり、光分布  $F(u)$  がディスク面 3 で回折される。回折の効果は、ディスク面 3 での複素反射率  $R(u)$  との積  $F(u) \cdot R(u)$  で表わされる。複素反射率  $R(u)$  は

#### 【実施例】

本発明の実施例の説明に先立ち、本発明の解決すべき課題及びその解決原理につき、図面を用いて詳細に説明する。

ここでは、第 2 図に示すように、ガウス分布からの平行ビーム束 1 が絞り込みレンズ 2 に入射し、ディスク面 3 上に光スポットとして絞り込まれ、ディスク面 3 での回折効果によって、ディスク面からの回折光 4 が再び絞り込みレンズ 2 を通して戻ってきて、出射ひとみ面に設けられた光検出器面 5 上で反射強度分布として形成される場合について説明する。

ただし、ここでは簡略化のため、本発明の説明に必要とする一次元方向、すなわちディスクの半径方向についてのみ示す。

絞り込みレンズ 2 面上において、ディスクの半径方向に  $x$  軸をとる。

絞り込みレンズ 2 に入射する光ビーム 1 のガウス状の分布  $r(x)$  は

$$R(u) = r(u) \exp\{i\phi(u)\} \quad (3)$$

である。ただし、 $r(u)$  はディスク面 3 での実反射率分布を表わし、 $\phi(u)$  はディスクの位相形状を表わす。ディスク面 3 の垂直方向の起伏を  $d(u)$  とすると、反射型の場合、

$$\phi(u) = 4\pi nd(u)/\lambda \quad (4)$$

である。ここで、 $n$  はディスク基板の屈折率、 $\lambda$  は光源の波長を表わす。また、座標  $u$  はディスク面 3 上での実座標  $\delta$  に対して、ひとみ上の座標  $x$  と一致させるため、 $u = (NA/\lambda)\delta$  で換算してある。ただし、 $NA$  は絞り込みレンズの開口数である。

ディスク面からの反射光の複素振幅分布  $F(u) \cdot R(u)$  は再び絞り込みレンズを通り、射出ひとみ、すなわち光検出器 5 で受光される。その受光反射光の複素振幅分布  $\alpha(x)$  は逆フーリエ変換で与えられる。

$$\alpha(x) = \int F(u)R(u)\exp(-i2\pi ux)du \quad (5)$$

以上の式の導出では、フーリエ変換を用いたが、ディスク面3での複素反射率 $R(u)$ が $u$ 軸方向に周期性を持つ場合、フーリエ級数展開が可能となる。図2図に示すように、複素反射率 $R(u)$ の $u$ 軸上の周期を $p$ とすると

$$R(u) = R_m \cdot \exp\{i2\pi(m/p)u\} \quad (6)$$

であらわされる。ただし、 $m$ は整数、 $R_m$ は $m$ 次のフーリエ係数である。

フーリエ係数 $R_m$ は次式で求まる。

$$R_m = \frac{1}{p} \int R(u) \cdot \exp(-i2\pi(m/p)u)du \quad (7)$$

(7)式を用いた場合、出射ひとみ5内での反射光の複素振幅分布 $\alpha(x)$ は、

$$f*(x-(m'/p)) \quad (9)$$

ただし、添字\*は共役複素数をあらわす。

さらに、光検出器5で実際に検出される受光量 $I$ は受光面での反射強度分布の積分で与えられる。例えば、受光面6が分割されている場合、分割受光領域 $D$ での受光量 $I'$ は次式で求まる。

$$I' = \int_D I(x)dx \quad (10)$$

以上の式を用いて従来の問題点を説明する。

従来のデータファイル用光ディスクのディスク面3は、第2図に示すようにディスクの半径方向に一定の深さ $d$ 、幅 $w$ の溝を等間隔でつくりつけられていた。一例として、波長 $\lambda = 0.83\mu\text{m}$ 、絞り込みレンズ2の開口数 $NA = 0.5$ 、 $d = \lambda/8$ 、 $w = 0.4\mu\text{m}$ 、 $p = 1.6\mu\text{m}$ と設定した場合、ディスク面3上に絞り込まれた光スポット径 $w$ はおおよそ $\lambda/NA = 1.6\mu\text{m}$ となる。この時、(8)式で求まる $m$ 次の回折光分布 $\alpha_m$ は図に示すように、0次

$$\alpha(x) = \exp(-i2\pi(m/p)u) \cdot R_m \cdot f(x-m/p) \quad (8)$$

すなわち、各次回折光分布の和で与えられる。 $u = 0$ 、すなわち光スポットが原点にある場合、 $m$ 次回折光 $\alpha_m$ は分布の中心を $m/p$ に位置し、それを中心に $\pm 1$ の範囲に分布の拡がりを持ち、複素振幅として、フーリエ係数 $R_m$ を持つことを(8)式は示している。その結果、高次の回折光は、その分布の中心が原点から離れるので出射ひとみ5から外にある点線で示した回折光は出射ひとみ5に対応した受光面6で受光されない。第2図では受光面6だけ2次元で表示してある。また、(8)式内の $\exp$ 項は、光スポットの原点からのずれ、すなわち $u$ に対しての回折光の波の位相が変化する様子を示す。

次に受光面6での反射光強度分布 $I(x)$ は、(8)式で与えられた、受光面5内に含まれる各次回折光の干渉の結果として求まる。すなわち、

$$I(x) = \exp\{-i2\pi[(m-m')/p]u\} \cdot R(m)R(m') \cdot f(x-m/p)$$

回折光 $\alpha_0$ と $\pm 1$ 次回折光 $\alpha_{+1}$ 、 $\alpha_{-1}$ の一部だけが出射ひとみ5すなわち受光面6に反射されてくる。さらに反射強度分布 $I(x)$ は(9)式からわかるように、光スポットの $u$ 軸方向のずれ、すなわちディスク半径方向のずれに伴い、 $\exp$ 項だけが変化する。したがって、0次回折光 $\alpha_0$ と $\pm 1$ 次回折光 $\alpha_{\pm 1}$ だけが反射強度 $I(x)$ に寄与する。その中で、 $\exp$ 項が有限の値をとり $u$ の値で変化するのは0次と+1次または、0次と-1次回折光が干渉する領域7、8である。そこで受光面6を受光面9、10に分割し、その反射光強度を検出する。

このようにして、光スポットのディスク半径方向のずれ、すなわちトラック追従誤差を検出することが可能である。また、図において情報ビットを溝間に記録し再生する場合、溝間トラックの間隔 $p$ が光スポット径程度の大きさを持つために、目標の溝間トラックの情報ビット11を再生する際にも、両隣の溝間トラック上の情報ビット12、13からの反射光のもれこみ、すなわちクロストーク

の影響を受けないで済む。

ここで、高密度化のために、トラック間隔  $p$  を小さくしていく場合を説明する。(8)式から明らかのように、 $p$  を小さくするとともに、 $\pm 1$  次の回折光はそれぞれ出射ひとみ 5 から外側にシフトする。そのため、トラック間隔  $p$  を光スポット径の半分、すなわち  $\lambda / (2 NA)$  まで小さくすると、出射ひとみ 5 上には 0 次回折光  $\alpha_0$  しか存在しなくなり、(9)式の  $e x p$  項の ( ) 内はゼロになり、トラック追従誤差を検出できなくなる。これが従来の第 1 の問題点である。また、第 2 の問題点は、トラック間隔  $p$  が  $1/2$  になると、光スポット面内に両隣のトラックの情報ビット 12、13 を半分程度含んでしまい、クロストークが増加し、エラーの原因となる。以上の第 1、第 2 の問題点のために、従来の方式では、トラック間隔を半分にして、記録密度 2 倍の高密度化を得ることは困難であった。

次に、本発明によってこれらの 2 つの問題点が解決できる理由を説明する。まず、本発明の非対

分布の光ビームが絞り込みレンズ 2 を通して照射され、回折されて出射ひとみ 5 上で得られる各次回折光  $\alpha_m$  を (8) 式から求める。情報トラックの間隔  $P$  が光スポット径の半分、 $P = \lambda / (2 NA)$  の場合、 $P = 2$  となり、 $m$  次のうち 3 次までの回折光が出射ひとみ 5 に分布を持つ。第 1 図には各次回折光の振幅、すなわちフーリエ係数  $R_m$  を 1 で規格化した  $m$  次回折光分布  $\alpha_m$  と 2 次元上の分布の配置を示している。

3 次までのフーリエ係数は (7) 式より、

$$\gamma = v/p, \phi_s = 4\pi ds/l, \phi_D = 4\pi dD/l \text{ とおくと、}$$

$$R_0 = (1 - \gamma) / 4 \cdot (r_1 + 2r_2 + r_3) + (r_4/2) \gamma \{ \exp(i\phi_s) + \exp(i\phi_D) \} \quad (11)$$

$$R_{\pm 1} = \pm i / \pi \cdot \sin\{\pi/4(1 - \gamma)\} (r_1 - r_2) \quad (12)$$

称溝構造について、回折光分布  $\alpha$  と反射光強度分布  $I(x)$  を求め、トラック追従誤差を検出可能でかつクロストークを低減できる理由を示す。

ここでは、第 1 図に示すように、ディスク面の溝構造として、溝形状は簡易化のため溝幅が  $W$  の凹形とし、深さ  $d_s$  の浅溝 24 と深さ  $d_D$  ( $d_D > d_s$ ) の深溝 25 をディスク半径方向に沿って間隔  $P$  ( $P > W$ ) で交互に配置する。また、光スポットを溝間の中心に沿って照射し、情報の記録または再生を行なう場合について、クロストークの影響を考慮するために、ディスクの各領域についての回折光分布  $\alpha$  への寄与を区別できるようにする。そこで、情報ビットの形成によって記録媒体の実反射率だけが変化するものとして、情報トラックすなわち溝間 26、27 そして 28 の実反射率をそれぞれ  $r_1, r_2$  そして  $r_3$ 、さらに溝内の実反射率を  $r_4$  のように設定する。

その結果、ディスク面 3 での周期の長さはトラック間隔  $p$  に対し、図中の二点破線間の  $4P$  となる。このような周期構造に対し、(1) 式で示した

$$\begin{aligned} R_{\pm 2} = & (r_3 / \pi) \cos(\pi/2 \cdot \gamma) \\ & - 1/2 \cos(\pi/2 \cdot \gamma) (r_1 + r_2) \\ & \pm (i/\pi) r_4 \sin(\pi/2 \cdot \gamma) \{ \exp(i\phi_s) \\ & - \exp(i\phi_D) \} \end{aligned} \quad (13)$$

$$R_{\pm 3} = -, + i / (3\pi) \cdot \sin(3\pi/4(1 - \gamma)) (r_1 - r_2) \quad (14)$$

となる。

第 1 図のようなディスクの溝構造に対して、トラック追従誤差信号を検出できる理由は、溝の間隔  $p$  が光スポット径の半分程度  $\lambda / (2 NA)$  でも、浅溝 24 または深溝 25 それぞれについての溝間隔は 2 倍の  $2p$  となるために、上記のように 0 次光以外の回折光が出射ひとみ 5 に含まれるので光スポットのトラックからのずれ、すなわち  $u$  の変化に対して、出射ひとみ 5 上の反射強度分布が変化し、この変化を検出することで、トラックずれを検出できるためである。実質的に  $u$  の変化に対して、反射強度分布の変化に寄与するのは、0 次回折光と  $\pm 2$  次回折光の干渉によるものであり、その姿

化の度合いは(13)式の第3項( )内すなわち浅溝14と深溝15の深さの差に主に依存する。

次に、クロストークを低減する方法について述べる。出射ひとみ5上に光検出器を配置して検出される反射光強度分布は、(9)式からもわかるように(8)式で求めた各次回折光 $\alpha m$ 間の干渉の総和であり、レンズ2に入射する光ビーム束1の分布にも強く影響を受ける。そこで、各次回折光 $\alpha m$ が干渉する領域によって出射ひとみ5を分割すると、第1図に示した4つの領域D1、D2、D3、そしてD4を得る。この4つの領域それぞれについて反射強度光量を求める。得られた反射強度光量を、第4図(a)、(b)の縦の欄に示すように、ディスク面3の各領域の実反射係数 $r_1, r_2, r_3$ 、そして $r_4$ の2つの積の項に分ける。これを式で表わすと、

$$ID(i) = kA(i, m, m') \cdot \{k(1, m, m') \cdot (r_1)^2 + k(2, m, m') \cdot (r_2 r_3)\}$$

(15)式について、情報トラック27を情報を再生するための目標トラックとして、その信号成分とその両隣の情報トラック26、28からのクロストークノイズ成分を分類する。(15)式から( )内の第1、2項は信号成分を、第3～9項はクロストークノイズ成分を、そして第10項は、溝によるノイズ成分を与えることがわかる。また、第4図(a)(b)からわかるように、第1、3～7項は、溝の深さに依存しないで、 $\gamma = W/P$ 、すなわち、溝幅 $W$ と溝間隔 $P$ の比に依存し、他の第2、8、9、10項は溝深さ $ds$ 、 $dD$ にも依存する。

(15)式の解析の結果として、信号成分の第1項は溝幅 $W$ を小さくし、情報トラックの幅を大きくする、すなわち $r$ を小さくすれば、大きい値を得ることができる。一方、クロストーク成分、第3～7項は、領域D(2)とD(3)に大きく寄与し、D(1)とD(4)にはほとんど含まれない。これは情報トラック16または18での実反射率 $r_1$ または $r_3$ の変化による回折光分布の変化がD(2)とD(3)の領域で主に生じるためである。

$$\begin{aligned} & \pm k(3, m, m') \cdot (r_1)^2 + k(4, m, m') \cdot (r_1)^2 \\ & + k(5, m, m') \cdot (r_1 r_2) \\ & + k(6, m, m') \cdot (r_1 r_2) + k(7, m, m') \cdot (r_2 r_2) \\ & + k(8, m, m') \cdot (r_1 r_4) + k(9, m, m') \cdot (r_2 r_4) \\ & + k(10, m, m') \cdot (r_4)^2 \end{aligned} \quad (15)$$

D(i)は $i = 1 \sim 4$ の各受光領域を示す。

となる。

(15)式において実反射係数の横の項の各係数 $k(1, m, m') \sim k(10, m, m')$ は、入射光ビームの分布が平面波の場合に対して、第4図(a)、(b)の横の欄に示すように出射ひとみ5に含まれる各次回折光 $\alpha m$ 同士の干渉項( $m, m'$ )での干渉強度を示し、溝幅 $w$ 、溝間隔 $p$ 、そして各溝の溝深さ $ds$ と $dD$ で与えられる。また、横の欄の枠内の四すみに表示している比例定数は、出射ひとみ5上の領域D(i)それぞれについて、入射ビーム $f(x)$ のピーク値を1で規格化し、(9)式内の $f(x-m/p) \cdot f^*(x-m'/p)$ と各領域D(i)内で $x$ 方向に平均化した平均値 $A(i, m, m')$ である。

次に、溝深さ $ds$ 、 $dD$ に強く依存する第2、8、10項については、溝の深さが異なるために、反射強度分布は出射ひとみ5のD(1)、D(2)側に偏りを持つ。この中で、クロストークノイズ成分、第8、9項は、その値が最小になるように溝の深さを最適化することができる。以上のことから、クロストークノイズ成分をできるだけ低減し、かつ信号成分を大きくするためには、領域D(1)での反射強度光量 $ID(1)$ だけを検出し、かつ、この領域でのクロストークノイズ成分、第8、9項を最小にし、信号成分、第2項が大きくなるように溝深さを最適化すればよい。

次に、本発明による光ディスクの一実施例を第5図により説明する。第5図(a)にディスク構造を示す。記録再生に用いる光源の波長に対し、光学的に透明であるディスク基板29上に薄膜状の記録膜30がついている。本実施例では、記録膜30として、光照射により記録膜が溶融または蒸発して照射領域から除かれることでディスク基板等が露出し、実効的な反射率が変化することで

情報ビットを記録する、所謂穴開け形記録媒体の一つであるPbTeSe系記録膜を用いた。ディスク面3の溝構造として、第1図の原理図で示した凹状の浅溝24と深溝25を交互にディスク半径方向に配置している。溝間の平面である情報トラック26、27または28は、情報管理領域の単位としてセクタ31と呼ばれる領域によってディスク一周を数十分割している。1セクタはさらにプリフォーマット部32とデータ部33によって構成されている。プリフォーマット部32はセクタのディスク上の位置を与えるアドレス等の情報からなり、ディスク作成時にあらかじめディスク上に作り付けられている領域である。この領域には深さ $\lambda/8$ の位相ビット列34または深さ $\lambda/4$ の位相ビット列35からなり、位相ビット列34と35はディスク半径方向に交互に配列されている。ただし、プリフォーマット領域32には溝構造が存在しない。これらのプリフォーマット部32さらに浅溝24、深溝25の作成法についてはディスク原盤作成法として後述する。一方、

データ部33はユーザによって情報を記録する領域であり、情報ビット36、37または38の列で構成されている。本実施例のように、光源の波長 $\lambda$ の数十分の一程度の膜厚の穴明け形記録媒体では、情報ビットは光照射によって実効的な反射率が局所的に減少している領域である。情報の記録再生に用いる光学系は、第11図に示すように、データ再生用光検出器39を除いて、一般的な光ピックアップであり、すくなくとも光源としぼり込みレンズとビームスプリッタから構成され、自動焦点検出系および制御系を備えている。第5図(a)に示すように、光源からの光ビームは自動焦点検出系によってサーボ制御され、絞り込みレンズ2によってディスク基板29を通して、ディスク3上の記録膜30に絞り込まれる。データの再生では、ディスク面3からの反射光が再びしぼり込みレンズ2を通り、さらにビームスプリッタ等によって光源とは異なる方向に導かれる。そこで、出射端面5に光検出器39を配置し、受光面40と41さらに42、43、44を設ける。受

光面40と41は第1図の領域D(1)またはD(4)にそれぞれ対応し、受光面44は領域D(2)と領域D(3)を含む面である。第5図(a)に示すように、情報トラック27を再生する場合は前述のように浅溝側の受光面40でデータ部33の信号検出を行なう。

次に、前述の第1図で説明したように、隣接トラック上の情報ビットからのクロストークを低減するための溝形状の最適化を行ない、さらに最適溝形状に対する情報ビットについての低クロストークの情報再生の効果を述べる。まず、溝形状の最適化の効果を光源の波長 $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$ 、絞り込みレンズのNA(開口数) = 0.5とし、トラック間隔 $p = 0.8 \mu\text{m}$ とした場合について、第6図と第7図に示す。第6図は溝深さの最適化を求める図である。ただし、浅溝24の溝深さ $d_s$ については解析の簡易化のため、 $d_s = \lambda/8n$ ( $n$ はディスク基板29の屈折率)とした。この図では、横軸に深溝29の深さ $d_D$ を、( $\lambda/n$ )を1として規格化したものを取り、縦軸は

(15)式で求めた領域D(1)での反射光量強度 $I_D(1)$ の各項のうち深さに依存する第2、8から10項の値、さらに参考のため信号成分の第1項のクロストーク成分を除いた量、すなわち総光量として第1、2そして10項の総和の値も示す。この図から分かるようにクロストーク成分第8、9項がともに最小となる溝深さ $d_D$ は $2.5\lambda/8n \leq d_D \leq 3\lambda/8n$ の範囲である。また信号成分の第2項をなるべく大きくするためには $d_D \approx 3\lambda/8n$ であることが望まれる。

上記の値では総光量を大きくとることができるためディスクノイズの大きい記録膜に対してもS/Nの高い信号検出が可能である。以上の最適化では情報ビットが浅溝24または深溝25にはみ出さない程度の大きさであることを前提としている。もし、第5図(a)に示すように、情報ビット36、37、38が溝にはみでる径の大きさの場合には、第2項は信号成分だけでなくクロストーク成分も含み、第4項も溝によるノイズ成分に加えて信号成分とクロストーク成分を両方含む



ようになる。このような場合の最適化の一例として、第2項および、第10項もクロストーク成分として考え、なるべく小さい値を取るように深溝25の深さ $dD$ を決定する。第6図から分かるように $dD \approx 2.5\lambda/8n$ が最適となる。上記の値では総光量は $dD \approx 3\lambda/8n$ の場合よりも小さくなるが信号成分の第1項は $dD$ に依存しないで一定値をとるので、実質上、信号変調度が大きく取れる。よって、ディスクノイズの小さい記録膜に対しては有利な設定値となる。

次に、第7図を用いて溝幅 $w$ の最適化を示す。

横軸には溝幅 $w$ と溝間隔 $p$ との比、 $\gamma$  ( $\equiv w/p$ )を取り、縦軸には第1項から10項の値を示す。クロストーク成分をなるべく小さくするためには、クロストーク成分のうち極小値を持つ第8項、9項に注目し、その極小値付近として、 $0.35 \leq \gamma \leq 0.5$ 、すなわち、 $p = 0.8\mu m$ より、溝幅 $w$ は  $0.3\mu m \leq w \leq 0.4\mu m$ であることが望ましい。この値は後述する原盤作成過程で行なう溝形成技術を用いれば作成

布曲線群46は情報ビット37が存在する場合の分布である。上記最適化の手段で述べたように受光面40でのみ受光すれば、受光量はクロストークとなる情報ビット36または38の存在に関係無く、信号成分となる情報ビット37の有無によってのみ変化し、かつその変化量も他の受光面に比べて大きいことが分かる。以上の効果をさらに定量的に求めたものを第8図と第9図に示す。第8図は〔ケース1〕について、第9図は〔ケース2〕について求めたものである。各図において横軸は光スポットのトラック方向への位置を示し、A点を原点としている。縦軸は部分受光面40または全受光面39での受光量を、情報ビット36、37、38がないときのそれぞれの受光量 $P$ 、 $T$ で規格化した相対変調度を示している。クロストーク量として、情報ビット37だけが存在するときのA点での変調度 $S$ と情報ビット36、37、38が存在するときのA点での変調度 $C$ の差、

$$\left| C - S \right| \text{ を変調度で割った比 } \left| C - S \right| / S$$

可能な値である。

以上の最適化で得られた溝形状を再記すると、

浅溝24の溝深さ $dD = \lambda/8n$ に対して

〔ケース1〕 深溝25の溝深さ $dD = 3\lambda/8n$

〔ケース2〕 深溝25の溝深さ $dD = 2.5\lambda/8n$

溝幅 $w = 0.3\mu m$ から $0.4\mu m$

次に、これらの溝形状でのクロストーク低減効果についての実験結果を述べる。第5図(b)は光検出器39で受光されるディスク半径方向への反射強度分布の実測結果である。横軸は受光面の半径を1で規格化している。縦軸は反射光の受光量分布を示す。この図の分布は、第5図(a)において光スポットがA点にある場合について、ビット径 $\phi = 0.6\mu m$ の3つの情報ビット36、37、38の有無の組合せ8通りについて観測したものである。また、この分布は上記〔ケース1〕について測定したものだが、〔ケース2〕についても同様な分布が得られる。分布曲線群45は情報ビット37が存在しない場合の分布であり、分

で求める。

第8、9図それぞれにおいて、情報ビット37のみ存在したときの全受光面39での変調度を49.50で、部分受光面40での変調度を51.52で示し、情報ビット36、37、38が存在したときの全受光面での変調度をそれぞれ53.54で、部分受光面40での変調度を55.56で示す。

〔ケース1〕の場合、

$$\begin{aligned} \text{(全受光面39で受光時)} & -13.1 \text{ dB} \\ & (T = 47.5\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(部分受光面40で受光時)} & -19.6 \text{ dB} \\ & (P = 24.6\%) \end{aligned}$$

〔ケース2〕の場合、

$$\begin{aligned} \text{(全受光面39で受光時)} & -13.8 \text{ dB} \\ & (T = 32.0\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(部分受光面40で受光時)} & -21.5 \text{ dB} \\ & (P = 14.2\%) \end{aligned}$$

となる。

以上のように、部分受光面40で信号を検出す

ることにより、クロストークノイズが6 dB以上低減することが分かった。また、〔ケース2〕は〔ケース1〕よりは受光量は半減するがクロストーク量はさらに2 dB低減できる。

これまでは、溝形状が凸凹の場合について述べたが、V溝形状でもクロストークノイズを低減できる。その実測結果の一例を第10図に示す。

第10図(a)はディスク構造を示し、(b)は(a)の形状についてのクロストークの低減効果について示している。

〔ケース3〕として溝形状を次に示す。

浅溝深さ  $d_s = \lambda / 8n$

深溝深さ  $d_D = 3\lambda / 8n$

溝幅  $w$  は浅溝、深溝ともに  $0.4 \mu m$  とする。

(b) 図からクロストークノイズ量を求めると、

(全受光面39で受光時)  $-13.6 \text{ dB}$   
( $T = 44.0\%$ )

(部分受光面40で受光時)  $-24.0 \text{ dB}$   
( $P = 11.5\%$ )

ただし、情報ビット37のみ存在したときの全

受光面39での変調度を57で、部分受光面40での変調度を58で示し、情報ビット36、37、38が存在したときの全受光面での変調度をそれぞれ59で、部分受光面40での変調度を60で示す。上記結果よりさらに2.5 dBクロストークノイズを低減できる。

以上、〔ケース1〕～〔ケース3〕の溝形状と部分受光面を用いることで、クロストークノイズが-20 dB以下と十分信頼のできるデータ再生を行うことができた。

次にプリフォーマット部32の読みだし方法を述べる。すなわち、プリビット列34の再生では受光面40と41からの受光量の差をプリフォーマット再生信号とし、プリビット35の再生では和をプリフォーマット再生信号として用いることで安定にアドレス等のデータを検出できた。

次に〔ケース3〕のディスク構造についてトラッキング方法を述べる。

第10図において、ディスクの半径方向に分割した受光面40、41で、光スポットがD→E→

C→F→Gとトラックを横切ったときの受光量61、62及びその和63を第12図に示す。目標トラックCに光スポットを追従させるためには和63がオフセット量64に等しくなるようにする。すなわち、第13図に示す回路において、和63からオフセット量64を差引いた信号65をトラッキング誤差信号として、第11図に示したガルバノミラー66を制御すればよい。ただし、トラックDまたはGに追従させる場合は第12図から明らかなように極性反転回路67(第13図参照)によってトラッキング誤差信号の極性を反転させる必要がある。以下、浅溝47が受光面40側に位置するトラックを奇数トラック68とし、逆に位置するトラックを偶数トラック69とする。

次に、第14図に示すような浅溝47、深溝48が2重らせん状に位置するディスク構造についてのデータの検出方法についてのべる。

第一に、ディスク半径方向に交互に配置する奇数トラック68と偶数トラック69を順に読みだす

方法を述べる。ディスク上にあらかじめ作りつけられているプリフォーマット部32などより、トラックジャンプのタイミング信号を検出する。ここで、例として奇数トラック68にスポットが追従しており、半径方向の外側の隣の偶数トラック69にトラックジャンプする場合を説明する。ジャンプ前での情報信号検出は前述のように受光面40を用いている。この状態でディスク一回転後に上記タイミング信号を検出した瞬間、ジャンプする方向のオフセットを第13図に示すように、トラッキング信号に加算して光スポットをジャンプする隣のトラック方向に振る。次の瞬間、トラッキング誤差信号の極性を反転することで外側の隣の偶数トラック69に追従させることができる。つぎにトラッキング誤差信号極性認識回路70によってトラッキング誤差信号の極性に対応して、受光面40からの信号71から、受光面41からの信号72を再生信号に切り替えて、偶数トラックに追従する。この動作を繰り返すことによって順にトラックをよみだすことができる。

以上の動作はプリフォーマット再生信号を検出する場合も第13図に示すように同様に行う。

次に二重らせん構造のディスクについて、同一のトラックを連続して読みだす方法を述べる。第14図において例として光スポットが奇数トラック68に追従している場合、ディスク回転後には、光スポットは偶数トラックを一本とばして外側の奇数トラックに位置する。ここで、同一トラックを連続して読みだすために、ディスク回転後に前述のトラックジャンプのタイミング信号73によって内側に光スポットをもどす方向のインパルスのオフセットをトラッキング誤差信号に加算する。この場合はトラッキング誤差信号の極性を反転する必要はない。以上の方法によって、同一のトラックを連続して読みだすことが可能となる。

ここで実施例で用いたディスク構造のディスク原盤をレーザカッティング法によって作成する例を第15図に示す。露光に用いるレーザ74はビームスプリッタ75で2ビームに分けられ、それ

1.  $6\mu\text{m}$ で送ることによって第14図に示した二重らせん構造の原盤を作成できる。

以上の実施例では、溝形状の種類として、凹溝またはV字溝を用いたが、U字溝でも、さらには、浅溝と深溝の溝形状の種類が異なっても同等の効果を得ることができる。また、溝深さ、溝幅についても実施例で示した値は許容値を持つ。

#### 【発明の効果】

以上、本発明を用いれば、トラックピッチを従来に比較して2倍程度狭くするとともに光ディスク装置において通常必要とされるクロストーク量の目標値、 $-20\text{dB}$ 以下を実現することができ、記憶容量を増加しながら、信頼度よくデータを記録再生することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の原理を説明するための図、第2図は従来のディスク構造及びそのデータ検出の方法を説明する図、第3図は従来のクロストークを低減する方法手段の説明図、第4図は、本発明における光検出器の受光面上での強度分布を解析し

ぞれ独立に強度変調及び偏向できるように光変調器76、77を通り、再び偏光プリズム78を通り、絞り込みレンズ79で原盤ディスク80上のフォトレジスト81上に絞り込まれる。光変調器76、77は偏向用パルス信号82によって同じ量だけ半径方向に光スポットを偏向し、光変調信号83、84それぞれに対応した光強度変調を行う。いま、第1のビーム85で浅溝47と $\lambda/8$ プリピット列34、第2のビーム86で深溝48と $3\lambda/8$ プリピット列35を露光する。第15図(b)に示すように浅溝47、深溝48を露光する場合は偏向させず、それぞれの目標とする溝深さが得られるような光強度で照射する。次に、プリフォーマット部32では、ビーム85、86を外側に偏向するように偏向用パルス信号82を印加し、プリピット34、35を露光するように光変調を行う。ただし、実施例ではトラックピッチ $p=0.8\mu\text{m}$ であり、偏向量は $p=0.8\mu\text{m}$ とした。さらに、ディスク原盤を回転し、2ビーム85、86をディスク半径方向にピッチ $2p=$

で示す図、第5図は本発明の一実施例のディスク構造と光検出面での受光分布を示す図、第6図は本発明による溝形状の深さと信号との関係を示す図、第7図は溝幅と信号の関係を示す図、第8図、第9図は本発明のディスク構造についてのクロストークノイズの実測値を示す図、第10図は溝がV字型になった場合のディスク構造とそのクロストークノイズ量を示した図、第11図は本発明で用いる光学系の一例を示す図、第12図はトラッキングの原理説明図、第13図はトラッキング制御と再生信号検出を行うための回路構成図、第14図は本発明による二重らせん構造のディスクの一例を示す図、第15図は本発明によるディスク原盤の作成を説明するための図である。

#### 符号の説明

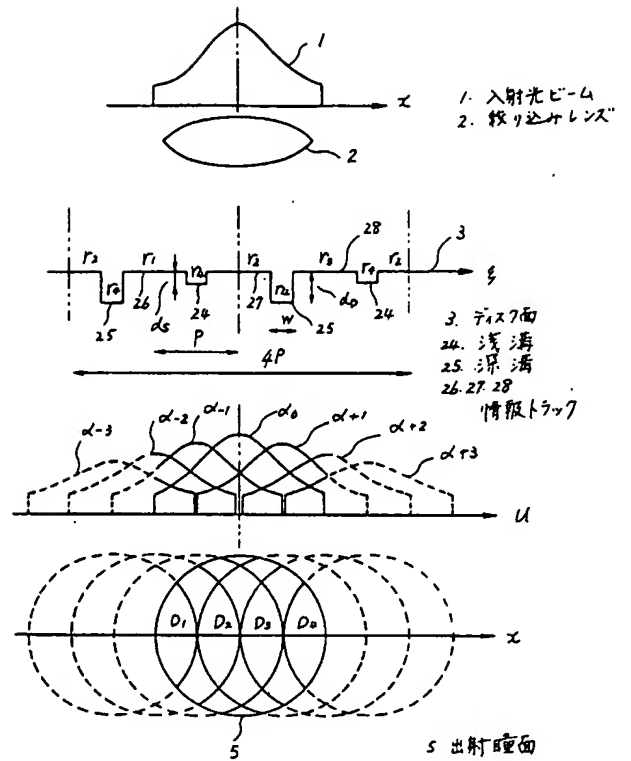
1-光ビーム、2-絞り込みレンズ、5-出射ひとみ、24-浅溝、25-深溝、31-セクタ、32-プリフォーマット部、33-データ部、34、35-プリピット列、36、37、38-情報ビット、39-光検出器、40、41、44

—受光面、68—奇数トラック、69—偶数トラック、80—原盤ディスク、85—第1のビーム、86—第2のビーム。

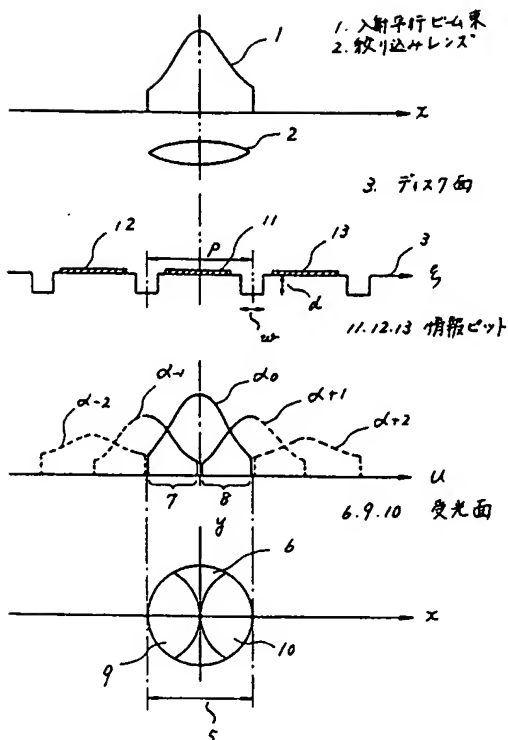
代理人 弁理士 小川勝男



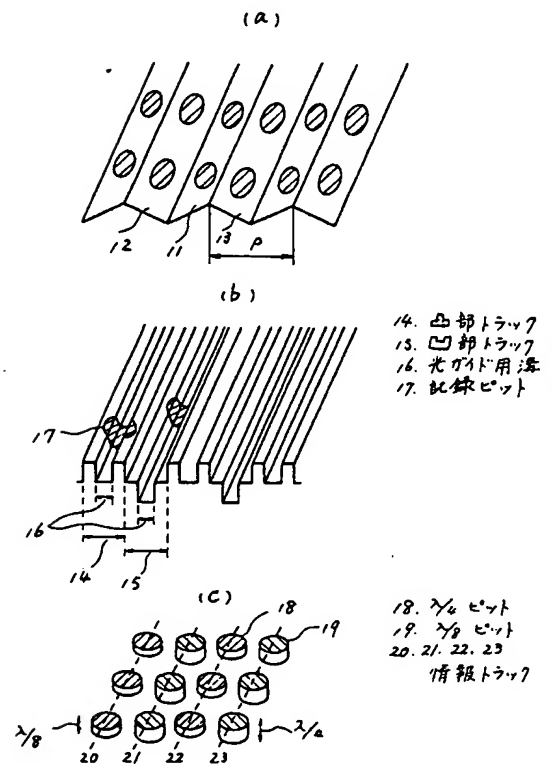
第 1 図



第 2 図



第 3 図

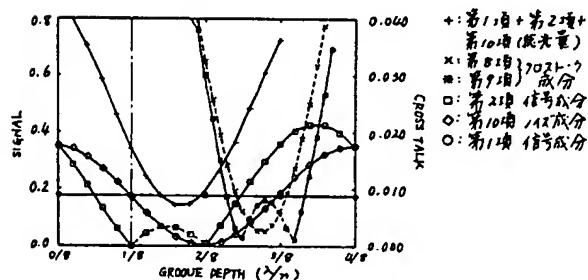


[illegible]

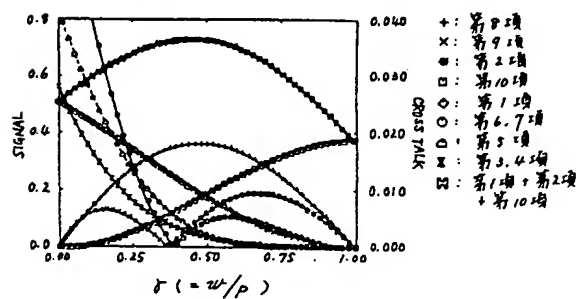
第 4 圖 (d)

$\lambda_2$	$\lambda_1$	$\lambda_0$	$\lambda_{-1}$	$\lambda_{-2}$	$\lambda_{-3}$	$\lambda_{-4}$	$\lambda_{-5}$	$\lambda_{-6}$	$\lambda_{-7}$	$\lambda_{-8}$	$\lambda_{-9}$	$\lambda_{-10}$	$\lambda_{-11}$	$\lambda_{-12}$	$\lambda_{-13}$	$\lambda_{-14}$	$\lambda_{-15}$	$\lambda_{-16}$	$\lambda_{-17}$	$\lambda_{-18}$	$\lambda_{-19}$	$\lambda_{-20}$	$\lambda_{-21}$	$\lambda_{-22}$	$\lambda_{-23}$	$\lambda_{-24}$	$\lambda_{-25}$	$\lambda_{-26}$	$\lambda_{-27}$	$\lambda_{-28}$	$\lambda_{-29}$	$\lambda_{-30}$	$\lambda_{-31}$	$\lambda_{-32}$	$\lambda_{-33}$	$\lambda_{-34}$	$\lambda_{-35}$	$\lambda_{-36}$	$\lambda_{-37}$	$\lambda_{-38}$	$\lambda_{-39}$	$\lambda_{-40}$	$\lambda_{-41}$	$\lambda_{-42}$	$\lambda_{-43}$	$\lambda_{-44}$	$\lambda_{-45}$	$\lambda_{-46}$	$\lambda_{-47}$	$\lambda_{-48}$	$\lambda_{-49}$	$\lambda_{-50}$	$\lambda_{-51}$	$\lambda_{-52}$	$\lambda_{-53}$	$\lambda_{-54}$	$\lambda_{-55}$	$\lambda_{-56}$	$\lambda_{-57}$	$\lambda_{-58}$	$\lambda_{-59}$	$\lambda_{-60}$	$\lambda_{-61}$	$\lambda_{-62}$	$\lambda_{-63}$	$\lambda_{-64}$	$\lambda_{-65}$	$\lambda_{-66}$	$\lambda_{-67}$	$\lambda_{-68}$	$\lambda_{-69}$	$\lambda_{-70}$	$\lambda_{-71}$	$\lambda_{-72}$	$\lambda_{-73}$	$\lambda_{-74}$	$\lambda_{-75}$	$\lambda_{-76}$	$\lambda_{-77}$	$\lambda_{-78}$	$\lambda_{-79}$	$\lambda_{-80}$	$\lambda_{-81}$	$\lambda_{-82}$	$\lambda_{-83}$	$\lambda_{-84}$	$\lambda_{-85}$	$\lambda_{-86}$	$\lambda_{-87}$	$\lambda_{-88}$	$\lambda_{-89}$	$\lambda_{-90}$	$\lambda_{-91}$	$\lambda_{-92}$	$\lambda_{-93}$	$\lambda_{-94}$	$\lambda_{-95}$	$\lambda_{-96}$	$\lambda_{-97}$	$\lambda_{-98}$	$\lambda_{-99}$	$\lambda_{-100}$
1	$(r_1)^2$	$(r_2)^2$	$(r_3)^2$	$(r_4)^2$	$(r_5)^2$	$(r_6)^2$	$(r_7)^2$	$(r_8)^2$	$(r_9)^2$	$(r_{10})^2$	$(r_{11})^2$	$(r_{12})^2$	$(r_{13})^2$	$(r_{14})^2$	$(r_{15})^2$	$(r_{16})^2$	$(r_{17})^2$	$(r_{18})^2$	$(r_{19})^2$	$(r_{20})^2$	$(r_{21})^2$	$(r_{22})^2$	$(r_{23})^2$	$(r_{24})^2$	$(r_{25})^2$	$(r_{26})^2$	$(r_{27})^2$	$(r_{28})^2$	$(r_{29})^2$	$(r_{30})^2$	$(r_{31})^2$	$(r_{32})^2$	$(r_{33})^2$	$(r_{34})^2$	$(r_{35})^2$	$(r_{36})^2$	$(r_{37})^2$	$(r_{38})^2$	$(r_{39})^2$	$(r_{40})^2$	$(r_{41})^2$	$(r_{42})^2$	$(r_{43})^2$	$(r_{44})^2$	$(r_{45})^2$	$(r_{46})^2$	$(r_{47})^2$	$(r_{48})^2$	$(r_{49})^2$	$(r_{50})^2$	$(r_{51})^2$	$(r_{52})^2$	$(r_{53})^2$	$(r_{54})^2$	$(r_{55})^2$	$(r_{56})^2$	$(r_{57})^2$	$(r_{58})^2$	$(r_{59})^2$	$(r_{60})^2$	$(r_{61})^2$	$(r_{62})^2$	$(r_{63})^2$	$(r_{64})^2$	$(r_{65})^2$	$(r_{66})^2$	$(r_{67})^2$	$(r_{68})^2$	$(r_{69})^2$	$(r_{70})^2$	$(r_{71})^2$	$(r_{72})^2$	$(r_{73})^2$	$(r_{74})^2$	$(r_{75})^2$	$(r_{76})^2$	$(r_{77})^2$	$(r_{78})^2$	$(r_{79})^2$	$(r_{80})^2$	$(r_{81})^2$	$(r_{82})^2$	$(r_{83})^2$	$(r_{84})^2$	$(r_{85})^2$	$(r_{86})^2$	$(r_{87})^2$	$(r_{88})^2$	$(r_{89})^2$	$(r_{90})^2$	$(r_{91})^2$	$(r_{92})^2$	$(r_{93})^2$	$(r_{94})^2$	$(r_{95})^2$	$(r_{96})^2$	$(r_{97})^2$	$(r_{98})^2$	$(r_{99})^2$	$(r_{100})^2$		
2	$(r_1 r_2)$	$(r_2 r_3)$	$(r_3 r_4)$	$(r_4 r_5)$	$(r_5 r_6)$	$(r_6 r_7)$	$(r_7 r_8)$	$(r_8 r_9)$	$(r_9 r_{10})$	$(r_{10} r_{11})$	$(r_{11} r_{12})$	$(r_{12} r_{13})$	$(r_{13} r_{14})$	$(r_{14} r_{15})$	$(r_{15} r_{16})$	$(r_{16} r_{17})$	$(r_{17} r_{18})$	$(r_{18} r_{19})$	$(r_{19} r_{20})$	$(r_{20} r_{21})$	$(r_{21} r_{22})$	$(r_{22} r_{23})$	$(r_{23} r_{24})$	$(r_{24} r_{25})$	$(r_{25} r_{26})$	$(r_{26} r_{27})$	$(r_{27} r_{28})$	$(r_{28} r_{29})$	$(r_{29} r_{30})$	$(r_{30} r_{31})$	$(r_{31} r_{32})$	$(r_{32} r_{33})$	$(r_{33} r_{34})$	$(r_{34} r_{35})$	$(r_{35} r_{36})$	$(r_{36} r_{37})$	$(r_{37} r_{38})$	$(r_{38} r_{39})$	$(r_{39} r_{40})$	$(r_{40} r_{41})$	$(r_{41} r_{42})$	$(r_{42} r_{43})$	$(r_{43} r_{44})$	$(r_{44} r_{45})$	$(r_{45} r_{46})$	$(r_{46} r_{47})$	$(r_{47} r_{48})$	$(r_{48} r_{49})$	$(r_{49} r_{50})$	$(r_{50} r_{51})$	$(r_{51} r_{52})$	$(r_{52} r_{53})$	$(r_{53} r_{54})$	$(r_{54} r_{55})$	$(r_{55} r_{56})$	$(r_{56} r_{57})$	$(r_{57} r_{58})$	$(r_{58} r_{59})$	$(r_{59} r_{60})$	$(r_{60} r_{61})$	$(r_{61} r_{62})$	$(r_{62} r_{63})$	$(r_{63} r_{64})$	$(r_{64} r_{65})$	$(r_{65} r_{66})$	$(r_{66} r_{67})$	$(r_{67} r_{68})$	$(r_{68} r_{69})$	$(r_{69} r_{70})$	$(r_{70} r_{71})$	$(r_{71} r_{72})$	$(r_{72} r_{73})$	$(r_{73} r_{74})$	$(r_{74} r_{75})$	$(r_{75} r_{76})$	$(r_{76} r_{77})$	$(r_{77} r_{78})$	$(r_{78} r_{79})$	$(r_{79} r_{80})$	$(r_{80} r_{81})$	$(r_{81} r_{82})$	$(r_{82} r_{83})$	$(r_{83} r_{84})$	$(r_{84} r_{85})$	$(r_{85} r_{86})$	$(r_{86} r_{87})$	$(r_{87} r_{88})$	$(r_{88} r_{89})$	$(r_{89} r_{90})$	$(r_{90} r_{91})$	$(r_{91} r_{92})$	$(r_{92} r_{93})$	$(r_{93} r_{94})$	$(r_{94} r_{95})$	$(r_{95} r_{96})$	$(r_{96} r_{97})$	$(r_{97} r_{98})$	$(r_{98} r_{99})$	$(r_{99} r_{100})$			
3	$(r_1)^2$	$(r_2)^2$	$(r_3)^2$	$(r_4)^2$	$(r_5)^2$	$(r_6)^2$	$(r_7)^2$	$(r_8)^2$	$(r_9)^2$	$(r_{10})^2$	$(r_{11})^2$	$(r_{12})^2$	$(r_{13})^2$	$(r_{14})^2$	$(r_{15})^2$	$(r_{16})^2$	$(r_{17})^2$	$(r_{18})^2$	$(r_{19})^2$	$(r_{20})^2$	$(r_{21})^2$	$(r_{22})^2$	$(r_{23})^2$	$(r_{24})^2$	$(r_{25})^2$	$(r_{26})^2$	$(r_{27})^2$	$(r_{28})^2$	$(r_{29})^2$	$(r_{30})^2$	$(r_{31})^2$	$(r_{32})^2$	$(r_{33})^2$	$(r_{34})^2$	$(r_{35})^2$	$(r_{36})^2$	$(r_{37})^2$	$(r_{38})^2$	$(r_{39})^2$	$(r_{40})^2$	$(r_{41})^2$	$(r_{42})^2$	$(r_{43})^2$	$(r_{44})^2$	$(r_{45})^2$	$(r_{46})^2$	$(r_{47})^2$	$(r_{48})^2$	$(r_{49})^2$	$(r_{50})^2$	$(r_{51})^2$	$(r_{52})^2$	$(r_{53})^2$	$(r_{54})^2$	$(r_{55})^2$	$(r_{56})^2$	$(r_{57})^2$	$(r_{58})^2$	$(r_{59})^2$	$(r_{60})^2$	$(r_{61})^2$	$(r_{62})^2$	$(r_{63})^2$	$(r_{64})^2$	$(r_{65})^2$	$(r_{66})^2$	$(r_{67})^2$	$(r_{68})^2$	$(r_{69})^2$	$(r_{70})^2$	$(r_{71})^2$	$(r_{72})^2$	$(r_{73})^2$	$(r_{74})^2$	$(r_{75})^2$	$(r_{76})^2$	$(r_{77})^2$	$(r_{78})^2$	$(r_{79})^2$	$(r_{80})^2$	$(r_{81})^2$	$(r_{82})^2$	$(r_{83})^2$	$(r_{84})^2$	$(r_{85})^2$	$(r_{86})^2$	$(r_{87})^2$	$(r_{88})^2$	$(r_{89})^2$	$(r_{90})^2$	$(r_{91})^2$	$(r_{92})^2$	$(r_{93})^2$	$(r_{94})^2$	$(r_{95})^2$	$(r_{96})^2$	$(r_{97})^2$	$(r_{98})^2$	$(r_{99})^2$	$(r_{100})^2$		
4	$(r_1)^2$	$(r_2)^2$	$(r_3)^2$	$(r_4)^2$	$(r_5)^2$	$(r_6)^2$	$(r_7)^2$	$(r_8)^2$	$(r_9)^2$	$(r_{10})^2$	$(r_{11})^2$	$(r_{12})^2$	$(r_{13})^2$	$(r_{14})^2$	$(r_{15})^2$	$(r_{16})^2$	$(r_{17})^2$	$(r_{18})^2$	$(r_{19})^2$	$(r_{20})^2$	$(r_{21})^2$	$(r_{22})^2$	$(r_{23})^2$	$(r_{24})^2$	$(r_{25})^2$	$(r_{26})^2$	$(r_{27})^2$	$(r_{28})^2$	$(r_{29})^2$	$(r_{30})^2$	$(r_{31})^2$	$(r_{32})^2$	$(r_{33})^2$	$(r_{34})^2$	$(r_{35})^2$	$(r_{36})^2$	$(r_{37})^2$	$(r_{38})^2$	$(r_{39})^2$	$(r_{40})^2$	$(r_{41})^2$	$(r_{42})^2$	$(r_{43})^2$	$(r_{44})^2$	$(r_{45})^2$	$(r_{46})^2$	$(r_{47})^2$	$(r_{48})^2$	$(r_{49})^2$	$(r_{50})^2$	$(r_{51})^2$	$(r_{52})^2$	$(r_{53})^2$	$(r_{54})^2$	$(r_{55})^2$	$(r_{56})^2$	$(r_{57})^2$	$(r_{58})^2$	$(r_{59})^2$	$(r_{60})^2$	$(r_{61})^2$	$(r_{62})^2$	$(r_{63})^2$	$(r_{64})^2$	$(r_{65})^2$	$(r_{66})^2$	$(r_{67})^2$	$(r_{68})^2$	$(r_{69})^2$	$(r_{70})^2$	$(r_{71})^2$	$(r_{72})^2$	$(r_{73})^2$	$(r_{74})^2$	$(r_{75})^2$	$(r_{76})^2$	$(r_{77})^2$	$(r_{78})^2$	$(r_{79})^2$	$(r_{80})^2$	$(r_{81})^2$	$(r_{82})^2$	$(r_{83})^2$	$(r_{84})^2$	$(r_{85})^2$	$(r_{86})^2$	$(r_{87})^2$	$(r_{88})^2$	$(r_{89})^2$	$(r_{90})^2$	$(r_{91})^2$	$(r_{92})^2$	$(r_{93})^2$	$(r_{94})^2$	$(r_{95})^2$	$(r_{96})^2$	$(r_{97})^2$	$(r_{98})^2$	$(r_{99})^2$	$(r_{100})^2$		
5	$(r_1 r_2)$	$(r_2 r_3)$	$(r_3 r_4)$	$(r_4 r_5)$	$(r_5 r_6)$	$(r_6 r_7)$	$(r_7 r_8)$	$(r_8 r_9)$	$(r_9 r_{10})$	$(r_{10} r_{11})$	$(r_{11} r_{12})$	$(r_{12} r_{13})$	$(r_{13} r_{14})$	$(r_{14} r_{15})$	$(r_{15} r_{16})$	$(r_{16} r_{17})$	$(r_{17} r_{18})$	$(r_{18} r_{19})$	$(r_{19} r_{20})$	$(r_{20} r_{21})$	$(r_{21} r_{22})$	$(r_{22} r_{23})$	$(r_{23} r_{24})$	$(r_{24} r_{25})$	$(r_{25} r_{26})$	$(r_{26} r_{27})$	$(r_{27} r_{28})$	$(r_{28} r_{29})$	$(r_{29} r_{30})$	$(r_{30} r_{31})$	$(r_{31} r_{32})$	$(r_{32} r_{33})$	$(r_{33} r_{34})$	$(r_{34} r_{35})$	$(r_{35} r_{36})$	$(r_{36} r_{37})$	$(r_{37} r_{38})$	$(r_{38} r_{39})$	$(r_{39} r_{40})$	$(r_{40} r_{41})$	$(r_{41} r_{42})$	$(r_{42} r_{43})$	$(r_{43} r_{44})$	$(r_{44} r_{45})$	$(r_{45} r_{46})$	$(r_{46} r_{47})$	$(r_{47} r_{48})$	$(r_{48} r_{49})$	$(r_{49} r_{50})$	$(r_{50} r_{51})$	$(r_{51} r_{52})$	$(r_{52} r_{53})$	$(r_{53} r_{54})$	$(r_{54} r_{55})$	$(r_{55} r_{56})$	$(r_{56} r_{57})$	$(r_{57} r_{58})$	$(r_{58} r_{59})$	$(r_{59} r_{60})$	$(r_{60} r_{61})$	$(r_{61} r_{62})$	$(r_{62} r_{63})$	$(r_{63} r_{64})$	$(r_{64} r_{65})$	$(r_{65} r_{66})$	$(r_{66} r_{67})$	$(r_{67} r_{68})$	$(r_{68} r_{69})$	$(r_{69} r_{70})$	$(r_{70} r_{71})$	$(r_{71} r_{72})$	$(r_{72} r_{73})$	$(r_{73} r_{74})$	$(r_{74} r_{75})$	$(r_{75} r_{76})$	$(r_{76} r_{77})$	$(r_{77} r_{78})$	$(r_{78} r_{79})$	$(r_{79} r_{80})$	$(r_{80} r_{81})$	$(r_{81} r_{82})$	$(r_{82} r_{83})$	$(r_{83} r_{84})$	$(r_{84} r_{85})$	$(r_{85} r_{86})$	$(r_{86} r_{87})$	$(r_{87} r_{88})$	$(r_{88} r_{89})$	$(r_{89} r_{90})$	$(r_{90} r_{91})$	$(r_{91} r_{92})$	$(r_{92} r_{93})$	$(r_{93} r_{94})$	$(r_{94} r_{95})$	$(r_{95} r_{96})$	$(r_{96} r_{97})$	$(r_{97} r_{98})$	$(r_{98} r_{99})$	$(r_{99} r_{100})$			
6	$(r_1 r_2)$	$(r_2 r_3)$	$(r_3 r_4)$	$(r_4 r_5)$	$(r_5 r_6)$	$(r_6 r_7)$	$(r_7 r_8)$	$(r_8 r_9)$	$(r_9 r_{10})$	$(r_{10} r_{11})$	$(r_{11} r_{12})$	$(r_{12} r_{13})$	$(r_{13} r_{14})$	$(r_{14} r_{15})$	$(r_{15} r_{16})$	$(r_{16} r_{17})$	$(r_{17} r_{18})$	$(r_{18} r_{19})$	$(r_{19} r_{20})$	$(r_{20} r_{21})$	$(r_{21} r_{22})$	$(r_{22} r_{23})$	$(r_{23} r_{24})$	$(r_{24} r_{25})$	$(r_{25} r_{26})$	$(r_{26} r_{27})$	$(r_{27} r_{28})$	$(r_{28} r_{29})$	$(r_{29} r_{30})$	$(r_{30} r_{31})$	$(r_{31} r_{32})$	$(r_{32} r_{33})$	$(r_{33} r_{34})$	$(r_{34} r_{35})$	$(r_{35} r_{36})$	$(r_{36} r_{37})$	$(r_{37} r_{38})$	$(r_{38} r_{39})$	$(r_{39} r_{40})$	$(r_{40} r_{41})$	$(r_{41} r_{42})$	$(r_{42} r_{43})$	$(r_{43} r_{44})$	$(r_{44} r_{45})$	$(r_{45} r_{46})$	$(r_{46} r_{47})$	$(r_{47} r_{48})$	$(r_{48} r_{49})$	$(r_{49} r_{50})$	$(r_{50} r_{51})$	$(r_{51} r_{52})$	$(r_{52} r_{53})$	$(r_{53} r_{54})$	$(r_{54} r_{55})$	$(r_{55} r_{56})$	$(r_{56} r_{57})$	$(r_{57} r_{58})$	$(r_{58} r_{59})$	$(r_{59} r_{60})$	$(r_{60} r_{61})$	$(r_{61} r_{62})$	$(r_{62} r_{63})$	$(r_{63} r_{64})$	$(r_{64} r_{65})$	$(r_{65} r_{66})$	$(r_{66} r_{67})$	$(r_{67} r_{68})$	$(r_{68} r_{69})$	$(r_{69} r_{70})$	$(r_{70} r_{71})$	$(r_{71} r_{72})$	$(r_{72} r_{73})$	$(r_{73} r_{74})$	$(r_{74} r_{75})$	$(r_{75} r_{76})$	$(r_{76} r_{77})$	$(r_{77} r_{78})$	$(r_{78} r_{79})$	$(r_{79} r_{80})$	$(r_{80} r_{81})$	$(r_{81} r_{82})$	$(r_{82} r_{83})$	$(r_{83} r_{84})$	$(r_{84} r_{85})$	$(r_{85} r_{86})$	$(r_{86} r_{87})$	$(r_{87} r_{88})$	$(r_{88} r_{89})$	$(r_{89} r_{90})$	$(r_{90} r_{91})$	$(r_{91} r_{92})$	$(r_{92} r_{93})$	$(r_{93} r_{94})$	$(r_{94} r_{95})$	$(r_{95} r_{96})$	$(r_{96} r_{97})$	$(r_{97} r_{98})$	$(r_{98} r_{99})$	$(r_{99} r_{100})$			
7	$(r_1 r_2)$	$(r_2 r_3)$	$(r_3 r_4)$	$(r_4 r_5)$	$(r_5 r_6)$	$(r_6 r_7)$	$(r_7 r_8)$	$(r_8 r_9)$	$(r_9 r_{10})$	$(r_{10} r_{11})$	$(r_{11} r_{12})$	$(r_{12} r_{13})$	$(r_{13} r_{14})$	$(r_{14} r_{15})$	$(r_{15} r_{16})$	$(r_{16} r_{17})$	$(r_{17} r_{18})$	$(r_{18} r_{19})$	$(r_{19} r_{20})$	$(r_{20} r_{21})$	$(r_{21} r_{22})$	$(r_{22} r_{23})$	$(r_{23} r_{24})$	$(r_{24} r_{25})$	$(r_{25} r_{26})$	$(r_{26} r_{27})$	$(r_{27} r_{28})$	$(r_{28} r_{29})$	$(r_{29} r_{30})$	$(r_{30} r_{31})$	$(r_{31} r_{32})$	$(r_{32} r_{33})$	$(r_{33} r_{34})</$																																																																					

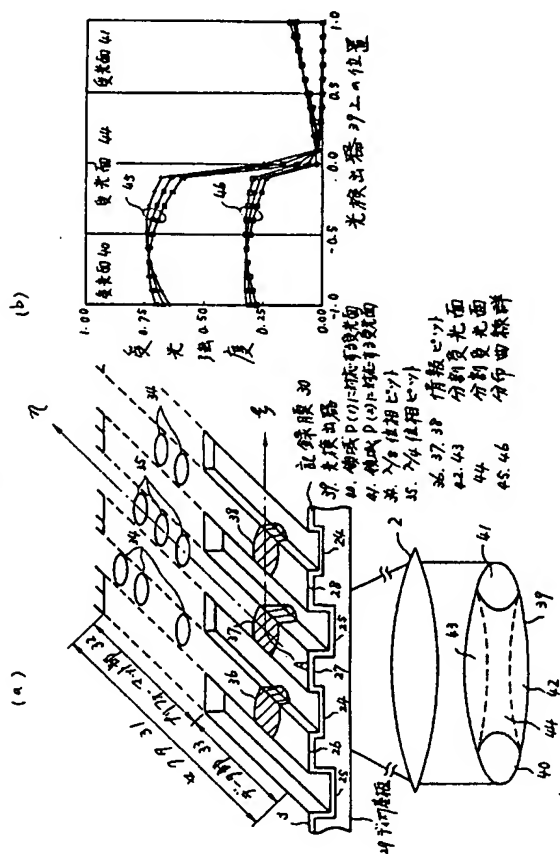
第 6 题

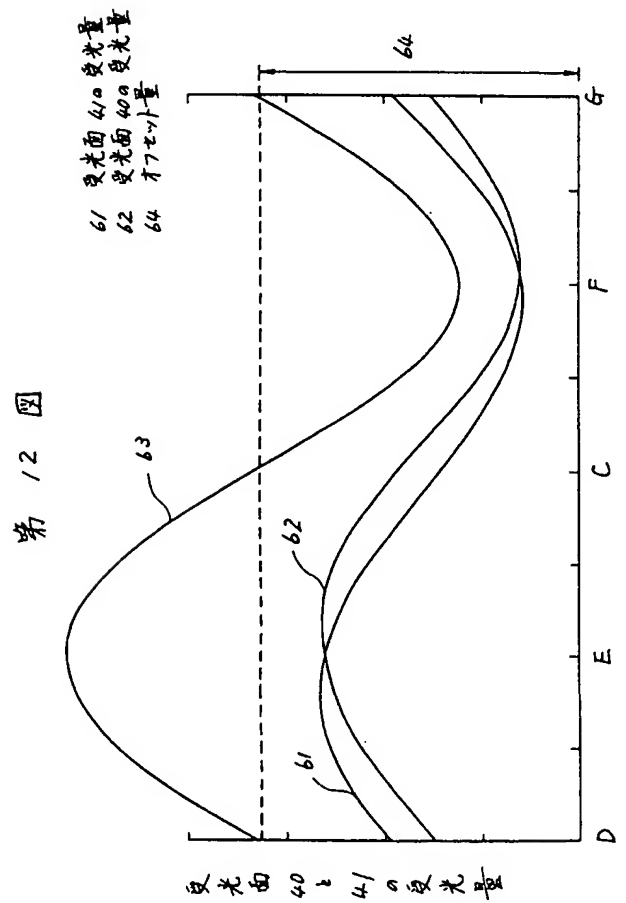
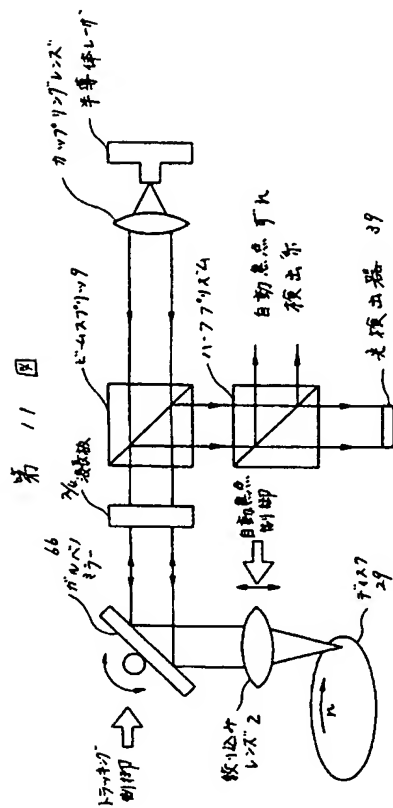
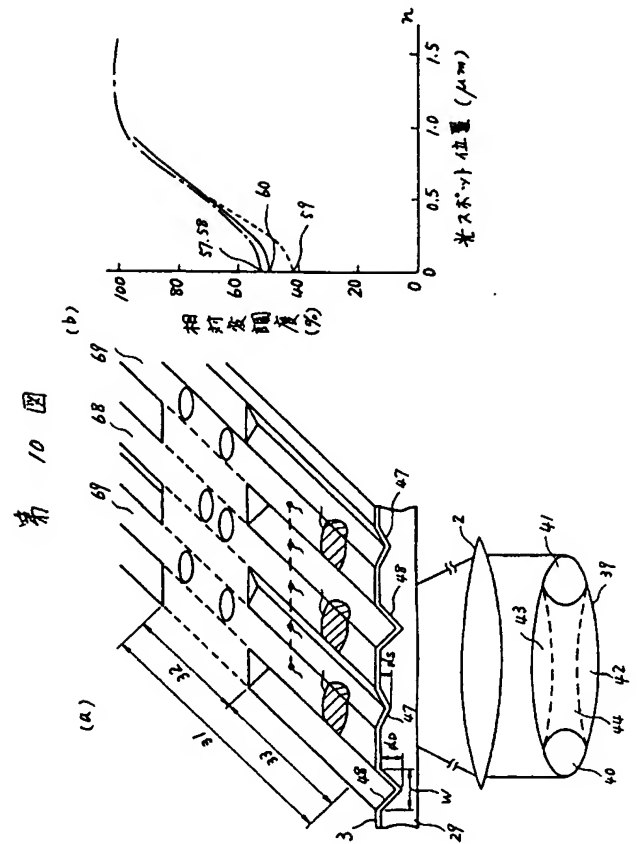
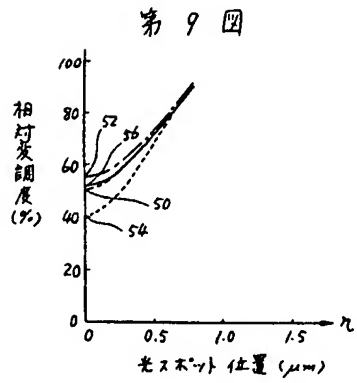
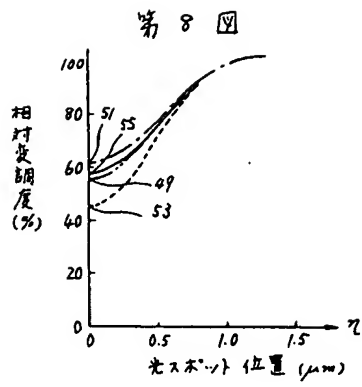


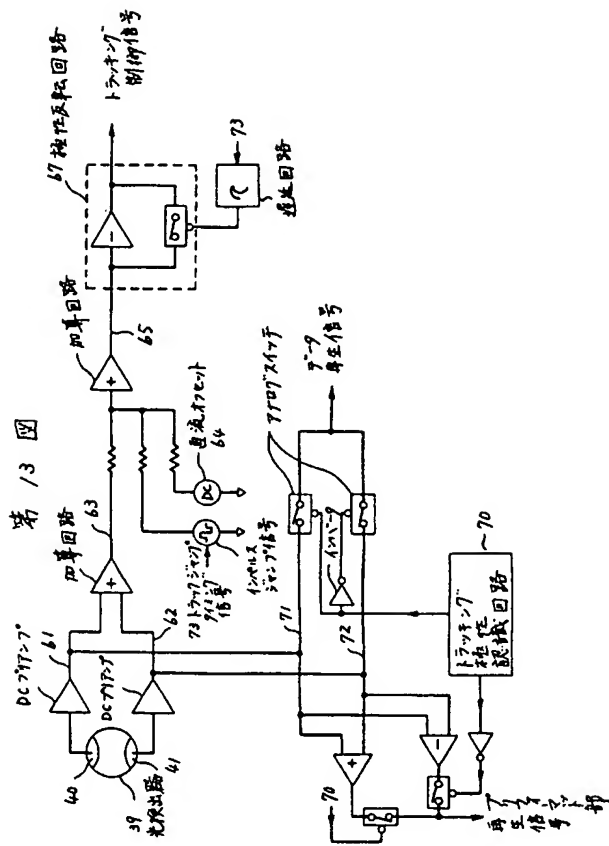
第 7 回



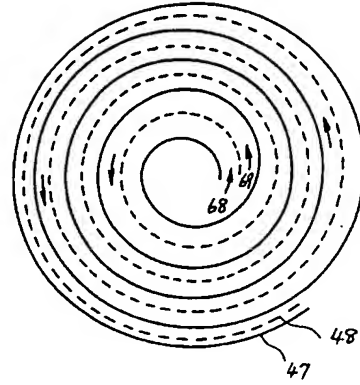
第五





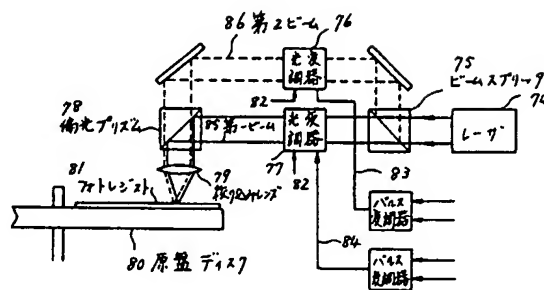


第 14 図

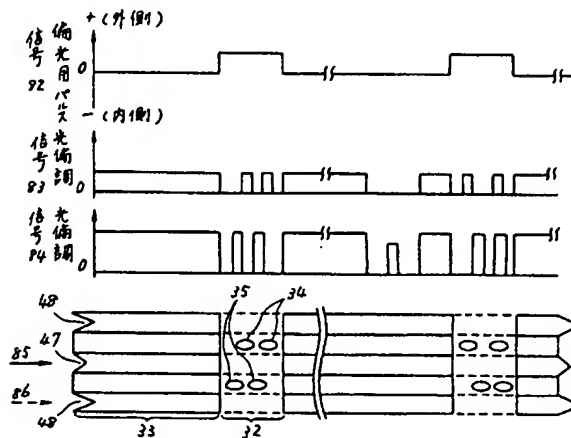


第 15 図

(a)



(b)



第 1 頁の続き

⑦発 明 者 伊 藤

捷 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目 280 番地 株式会社日立製作所中央研究所内